

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОКОВКИ ПРИ ВЫСАДКЕ

*Хроменков А.В.*

МГТУ «СТАНКИН»

Кафедра «Системы пластического деформирования»

Научное руководство: д.т.н., проф. Сосёнушкин Е.Н., д.т.н., проф. Кремнёв Л.С.,  
ст. преп. Сапронов И.Ю.

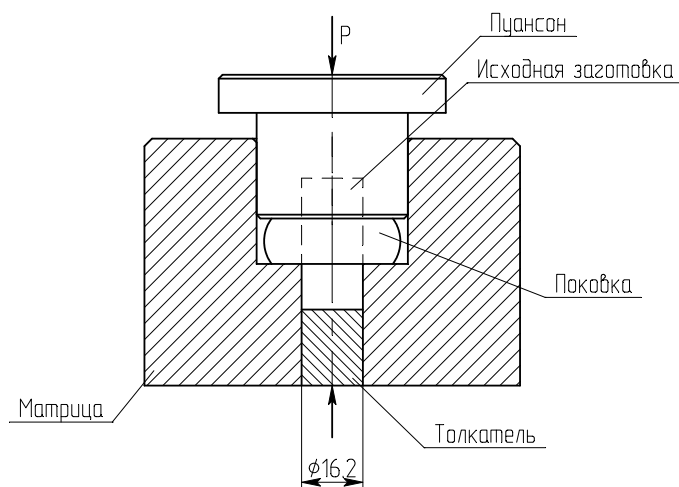
Целью работы является получение численных параметров процесса высадки как одного из этапов производства болта с шестигранной головкой, соотнесение результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными и теоретическими расчётами, а также определение погрешности моделирования.

Качество инструмента и его стойкость имеют большое, а иногда и решающее значение при производстве крепежных изделий. Недостаточная стойкость инструмента, частая его замена, вызывающая простои оборудования, влияет на производительность труда, эффективность применения прогрессивных технологий и коэффициент использования оборудования, а также отражается на качестве изделий.

При реализации работы в направлении целенаправленного поиска технических и технологических решений, обеспечивающих повышение стойкости инструмента, в конечном счете, необходимо разработать информационную систему отслеживания состояния инструмента и производственных факторов, воздействующих на стойкость[5]. Поэтому при исследовании стойкости инструмента возникает необходимость моделирования процессов штамповки.

Исходными данными при моделировании являлись параметры процесса высадки головки болта, реализованного в лаборатории кафедры систем пластического деформирования МГТУ «СТАНКИН».

Высадка — технологическая операция, при которой уменьшается длина заготовки, выступающая из матрицы, и одновременно увеличивается площадь ее поперечного сечения. На этапе высадки инструмент воспринимает достаточно большие удельные нагрузки (до 2000 МПа)[6]. Схема высадки представлена на *рис.1*.



*Рис.1* Схема высадки

В качестве исходной заготовки взят пруток из стали 45 в отожженном состоянии длиной 40 мм и диаметром 16 мм. Твёрдость материала заготовки 78-79 HRB (146 – 148 HB).

Высадка стальной заготовки производилась в данном инструменте впервые (Рис.2), поэтому во избежание получения травм использовались защитные экраны.



*Рис. 2 Начальный этап процесса высадки*

По окончании процесса штампованная заготовка (рис. 3) удалялась при помощи выталкивателя на винтовом прессе.



*Рис. 3 Заготовка на различных этапах высадки*

Для моделирования поведения деформируемого материала при его обработке был рассмотрен процесс высадки симметричной заготовки с использованием одного из продуктов фирмы Quantor Soft - QForm 2D.

При использовании любого программного продукта для моделирования технологических процессов появляется необходимость анализа корректности выдаваемых результатов компьютерного моделирования.

На прессе усилием 100 т имеется возможность фиксирования силы в зависимости от хода ползуна.

В свою очередь достаточно точные значения силы, необходимой для высадки деталей типа тел вращения, обеспечивают уравнения [3]:

$$P_s = \sigma_s z_\phi \bar{v} \left(1 + \frac{\mu D}{3h}\right) F \quad (\text{по С. И. Губкину});$$

$$\sigma_s = \sigma_{se} \left(\frac{\psi}{\psi_{se}}\right)^{\frac{\psi}{1-\psi_{se}}} \quad (\text{сопротивление деформированию});$$

$$\sigma_{se} = \frac{\sigma_\epsilon}{1-\psi_\epsilon} \quad (\text{напряжение течения});$$

$$\sigma_\epsilon = 750 \text{ МПа} \quad (\text{предел прочности для стали 45});$$

$$\psi = \frac{h_0 - h}{h_0} \quad (\text{относительная деформация});$$

$$h_0 = 28 \text{ мм} \quad (\text{начальная высота высаживаемой части});$$

$h$  – текущая высота высаживаемой части;

$$\psi_\epsilon = 0,37 \quad (\text{относительная деформация при одноосном растяжении});$$

$z_\phi = 1,1$  (коэффициент неравномерности напряжений для деталей простой формы).

$\bar{v} = 1,25$  (коэффициент, учитывающий влияние механической схемы деформации);

$\mu = 0,1$  (коэффициент трения при холодном деформировании со смазкой);

$D$  – диаметр проекции головки на плоскость, перпендикулярную к оси головки;

$F$  – площадь поперечного сечения высаженной части детали.

Сравнение в MS Excel теоретического графика, графика прессы и графика Qform позволило сделать вывод об их идентичности (рис. 4).

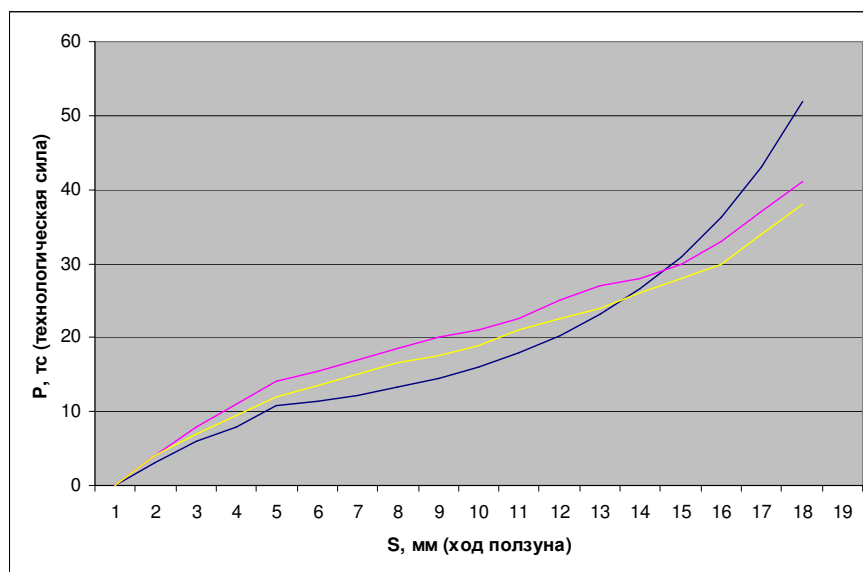
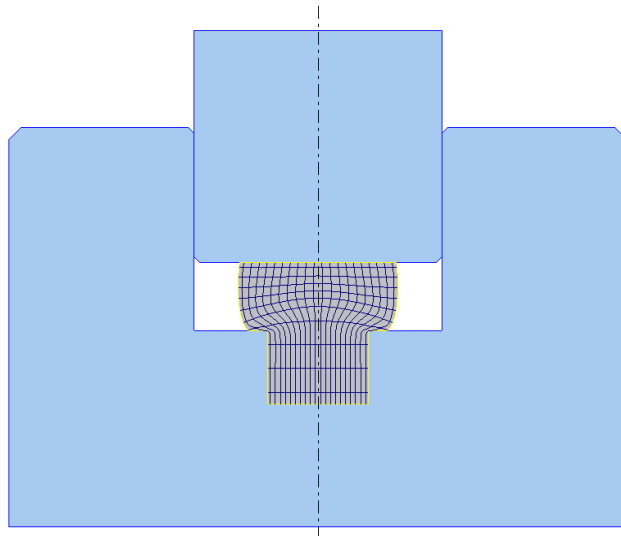


Рис.4 Графики технологической силы.

На следующем этапе производилось сравнение изменения координатной сетки, полученное опытным путём с результатом численного эксперимента (рис.5).



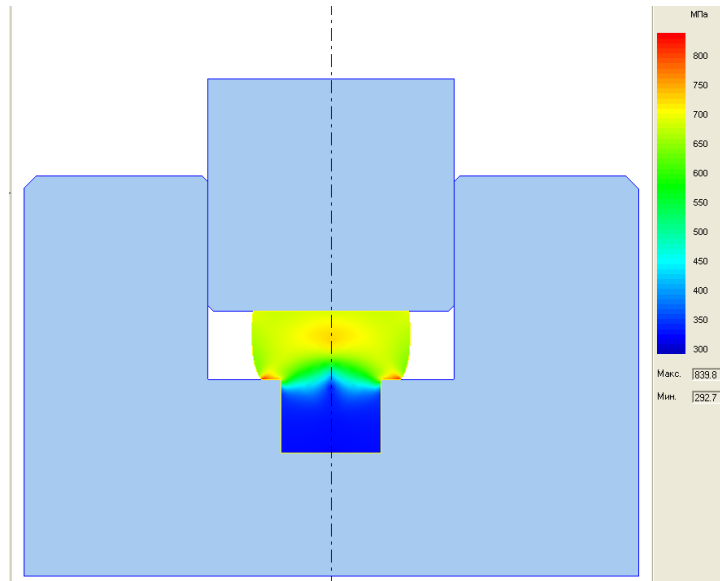
*Рис. 5 Изменение сетки конечных элементов при высадке*

Макроструктурный анализ высаженной заготовки по методу Баумана [1], проведённый на кафедре «Металловедение» МГТУ «Станкин», показал, что волокна на фотоотпечатке (рис. 6) имеют направленность, схожую с координатной сеткой, полученной при моделировании, что подтверждает корректность математической модели.



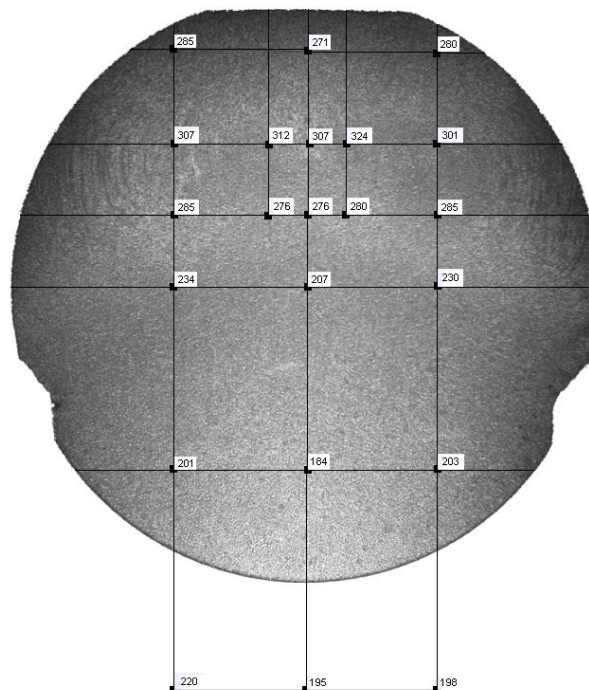
*Рис. 6 Макроструктура поковки в очаге деформации*

В процессе высадки металл заготовки упрочняется. Получена картина распределения  $\sigma_s$  (сопротивления деформированию) по объёму заготовки (рис. 7):



*Рис. 7 Распределение  $\sigma_s$  по объёму заготовки*

Для подтверждения получившейся картины распределения напряжений был использован метод осаждения меди [4]. В качестве реактива - раствор меди в соляной кислоте (5 г хлорной меди, 40 мл соляной кислоты, 25 мл этилового спирта, 30 мл воды). Образец нагревался до 200°C и погружался на 10-20 сек в холодный раствор. Затем образец промывался спиртом и фотографировался при десятикратном увеличении.



*Рис. 8 Распределение напряжений  $\sigma_s$  и твёрдости (в единицах Виккерса) в очаге деформаций*

Характерные зоны распределения напряжений могут быть выявлены по параметру твёрдости [2]. Картина распределения твёрдости по сечению показана на рис. 8. Однако значения, полученные на одной высоте сечения, но на разных расстояниях от центра лежат в пределах доверительного интервала, поэтому сделать вывод о равномерности упрочнении в этом случае нельзя.

Выводы:

1. Проведённые эксперименты позволили сделать вывод об адекватности моделирования.
2. Получены значения удельных сил, действующих на различные участки матрицы.
3. Проведена численная оценка погрешности моделирования процесса высадки болта с шестигранной головкой с использованием пакета Qform2D.

#### **Список использованной литературы.**

1. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение, М.: «Металлургия», 1989.
2. Дель Г.Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твёрдости. М.: «Машиностроение», 1971.
3. Ковка и Штамповка. Справочник в 4 томах под ред. Навроцкого Г.А.. Том 3. М.: «Машиностроение», 1987.
4. Панченко Е.В., Скаков Ю.А. и др. Лаборатория металлографии. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1957.
5. Скворцова С.С., Галиахметов Т.Ш. Качество инструмента для производства крепёжных изделий. «Кузнечно штамповочное производство: перспективы и развитие – сборник научных трудов». Екатеринбург, ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005 г.
6. Степанский Л.Г. Оценка стойкости инструмента для обработки давлением. М.: Издательство мосстанкина, 1988.